

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
4. November 2004 (04.11.2004)

PCT

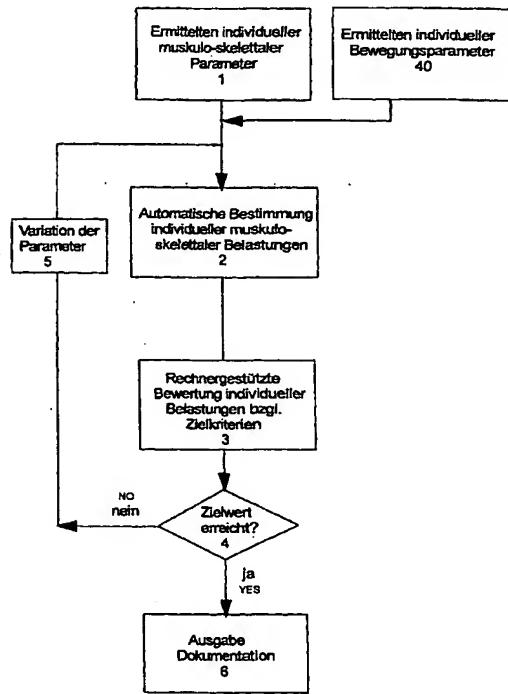
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2004/095341 A2**

- |   |                             |   |  |
|---|-----------------------------|---|--|
| (51) Internationale Patentklassifikation <sup>7</sup> : | <b>G06F 19/00</b>           | (71) Anmelder und   |  |
| (21) Internationales Aktenzeichen:                      | PCT/DE2004/000839           | (72) Erfinder: DUDA, Georg, N. [DE/DE]; Verlängerte Geor-<br>genstrasse 41, 12209 Berlin (DE). HELLER, Markus, O.<br>[DE/DE]; Krausnickstrasse 23, 10115 Berlin (DE). TAY-<br>LOR, William, R. [DE/DE]; Zionskirchstrasse 37, 10119<br>Berlin (DE).   |  |
| (22) Internationales Anmeldedatum:                      | 16. April 2004 (16.04.2004) | (74) Anwalt: GROSS, Felix; Maikowski & Ninnemann, Post-<br>fach 15 09 20, 10671 Berlin (DE).  |  |
| (25) Einreichungssprache:                               | Deutsch                     | (81) Bestimmungsstaaten ( <i>soweit nicht anders angegeben, für<br/>jede verfügbare nationale Schutzrechtsart</i> ): AE, AG, AL,<br>AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,<br>CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES,<br>FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, |  |
| (26) Veröffentlichungssprache:                          | Deutsch                     |   |  |
| (30) Angaben zur Priorität:                             |                             |   |  |
| 103 18 887.8  | 17. April 2003 (17.04.2003) | DE  |  |
| 103 31 110.6  | 4. Juli 2003 (04.07.2003)   | DE  |  |

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR SIMULATING MUSCULOSKELETAL STRAINS ON A PATIENT

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR SIMULATION MUSKULO-SKELETTALER BELASTUNGEN EINES PATIENTEN



- 1 DETERMINE INDIVIDUAL MUSCULOSKELETAL PARAMETERS
- 40 DETERMINE INDIVIDUAL MOVEMENT-RELATED PARAMETERS
- 5 VARY PARAMETERS
- 2 AUTOMATICALLY DETERMINE INDIVIDUAL MUSCULOSKELETAL STRAINS
- 3 COMPUTER-ASSISTED EVALUATION OF INDIVIDUAL STRAINS REGARDING TARGET CRITERIA
- 4 TARGET VALUE REACHED?
- 6 OUTPUT DOCUMENTATION

(57) Abstract: The invention relates to a method and a device for simulating musculoskeletal strains on a patient, especially for preparing or monitoring surgical interventions and/or planning and/or monitoring rehabilitation. According to the invention, individual musculoskeletal parameters of the patient are determined first, particularly by automatically measuring anthropometric parameters and/or the position and/or alignment of joints, especially also gait-related data such that individual musculoskeletal strains are automatically determined from the determined musculoskeletal parameters of the patient. The individual musculoskeletal strains thus determined are evaluated in a computer-assisted manner regarding at least one target criterion, particularly the contact forces or the degree of motion of a joint or the fragment movements of a fracture. The aim of the invention is to create a method for evaluating musculoskeletal strains on a patient, by means of which above all surgical interventions or rehabilitative measures can be improved.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Simulation muskulo-skelettaler Belastungen eines Patienten, insbesondere zur Vorbereitung bzw. Überwachung operativer Eingriffe und/oder zur Planung bzw. Überwachung der Rehabilitation. Dazu werden zunächst individuelle muskulo-skelettale Parameter des Patienten, insbesondere durch automatische Messung anthropometrischer Parameter und/oder der Lage und/oder Orientierung von Gelenken ermittelt, insbesondere auch Gangdaten. Danach werden individuelle muskulo-skelettale Belastungen aus den ermittelten muskulo-skelettalen Parametern des Patienten automatisch bestimmt. Die so bestimmten individuellen muskulo-skelettalen Belastungen werden rechnergestützt hinsichtlich mindestens eines Zielkriteriums, insbesondere hinsichtlich der Kontaktkräfte oder des Bewegungsausmaßes eines Gelenkes oder hinsichtlich der Fragmentbewegungen einer Fraktur bewertet. Die Erfindung löst die Aufgabe, ein Verfahren zur Bewertung

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

- (84) Bestimmungsstaaten (*soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart*): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT,

RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

- ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

5

---

10           **Verfahren zur Simulation muskulo-skelettaler  
Belastungen eines Patienten**

---

15           **Beschreibung**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Simulation muskulo-skelettaler Belastungen eines Patienten gemäß dem Obergriff  
20 des Anspruchs 1.

Es ist ein gesellschaftlicher Trend hin zu einem aktivem Lebensstil, geprägt unter anderem auch durch das Ausüben von Hochrisiko Sportarten gepaart mit einer vermehrten körperlichen Aktivität, auch im Alter, zu beobachten. Zusätzlich steigt die Lebenserwartung und eine generelle Alterung der Bevölkerung ist zu beobachten. Mit beiden Phänomenen geht eine Zunahme muskulo-skelettaler Erkrankungen einher. Deren besondere Relevanz wird unter anderem auch durch die von der  
30 WHO ausgerufene Bone & Joint Decade ersichtlich.

Konkret bedeutet dies, dass die Anzahl der Menschen, die beispielsweise künstliche Gelenke benötigen, die eine Fraktur erleiden oder für die Rehabilitationsmaßnahmen erforder-

lich werden, steigt. Diese Entwicklung hat sowohl eine enorme ökonomische Bedeutung auf Grund der damit verbundenen Kosten durch Operationen und Rehabilitationsmaßnahmen bzw. der indirekte Kosten der Arbeitsfähigkeit, aber auch eine 5 wichtige sozio-kulturelle Komponente, nämlich den Erhalt von Lebensqualität. Insgesamt folgt, dass eine Optimierung der entsprechenden Maßnahmen wie beispielsweise Operationen und Rehabilitationsmaßnahmen eine hohe Bedeutung für die Entwicklung der Gesellschaft hat.

10

Der Erfolg einer Behandlung, insbesondere im Rahmen eines Gelenkersatzes oder bei der Frakturversorgung hängt jedoch sehr stark von den davor und danach erreichten individuellen muskulo-skelettalen Belastungen ab. Im Rahmen der Maßnahmen 15 wird versucht, diese aktiv zu ändern bzw. einen „normalen Zustand“, der in der Regel auch der optimale Zustand ist, wieder herzustellen. Die Kenntnis über muskulo-skelettale Belastungen ist derzeit beschränkt, da es sich dabei um komplexe Systeme handelt. Eine Einbeziehung der muskulo-skelettalen Belastung in die Planung bzw. die Durchführung 20 von Operationen und/oder Rehabilitationsmaßnahmen erfolgt derzeit nicht. Das Ergebnis der durchgeführten Operation bzw. der Rehabilitationsmaßnahmen ist daher in hohem Maße von der Erfahrung des Chirurgen bzw. des Therapeuten abhängig. 25

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist daher, ein Verfahren zur Bewertung muskulo-skelettaler Belastungen eines Patienten anzugeben, mit dem insbesondere operative Eingriffe bzw. 30 Rehabilitationsmaßnahmen verbessert werden können.

Die Aufgabe wird durch ein Verfahren zur Simulation muskulo-skelettaler Belastungen mit den Merkmalen des Anspruch 1 gelöst.

5 Dem gemäß werden zunächst individuelle muskulo-skelettale Parameter des Patienten ermittelt. Insbesondere werden durch automatische Messung anthropometrische Parameter, automatische Ableitung anthropometrischer Parameter aus einem System für die Computer Assistierte Chirurgie, insbesondere einem chirurgischen Navigationssystem, und/oder die Lage und/oder Orientierung von Gelenken ermittelt. Ein chirurgisches Navigationssystem stellt dem Operateur eine virtuelle Darstellung des Operationsbereiches zur Verfügung. Diese Darstellung wird z.B. anhand von vor der OP aufgenommener 10 CT-Bilder erstellt. Dabei kann der Operateur die Bewegungen von Instrumenten auch in der virtuellen Darstellung beobachten, wobei er einem vorher in der virtuellen Darstellung angeordneten Behandlungsplan folgen kann. Damit ist auch ein Vergleich der realen OP-Situation mit der geplanten Situation 15 möglich. Auch ist es möglich, mit Hilfe des Navigationssystems aktiv Instrumente zu steuern. Das Verfahren und die Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens können z.B. auf einem zentralen Server installiert sein. Die Nutzer (z.B. Therapeuten, Chirurgen, Techniker) würden in diesem Fall 20 nicht lokal auf Daten zugreifen, sondern könnten über das Internet die benötigten Informationen erhalten oder ggf. auch eingeben. Damit können die Daten während der Planung und auch nachfolgenden Schritten therapiebegleitend genutzt werden. Auch kann ein Zentrum eingerichtet werden, dass 25 zentral Daten für unterschiedliche Nutzer pflegt und verteilt. 30

Aus den ermittelten individuellen muskulo-skelettalen Parametern werden im zweiten Schritt die individuellen muskulo-skelettalen Belastungen automatisch bestimmt. Im dritten Schritt des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die individuellen muskulo-skelettalen Belastungen hinsichtlich mindestens eines Zielkriteriums rechnergestützt bewertet. Als Zielkriterium können dabei insbesondere die Kontaktkräfte bzw. das Bewegungsausmaß eines Gelenkes oder die Fragmentbewegungen einer Fraktur dienen.

10

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren können chirurgische Vorgehensweisen, wie beispielsweise Eingriffe zum totalen Gelenkersatz, Eingriffe an Bandstrukturen, Eingriffe in Rahmen von Umstellungsosteotomien sowie Eingriffe im Rahmen der Frakturversorgung von Menschen und Tieren unterstützt werden.

20

Durch die Ermittlung einer Bewertung der individuellen muskulo-skelettalen Belastungen hinsichtlich mindestens eines Zielkriteriums können chirurgischen Verfahren in Planung, Durchführung und Evaluierung unterstützt werden. Der Chirurg bzw. Therapeut kann mit Hilfe des Verfahrens direkt die Auswirkungen eines geplanten Eingriffes nichtinvasiv abschätzen und seinen Operations- bzw. Therapieplan dement sprechend bewerten und anpassen. Durch die Verwendung individualisierter, biomechanischer muskulo-skelettaler Belastungs- und Beanspruchungsanalysen kann daher die Planung, Durchführung und Evaluierung chirurgischer Verfahren bereits vor dem Eingriff objektiviert werden.

30

In einer Variante des Verfahrens wird nach der Bewertung der individuellen muskulo-skelettalen Belastungen mindestens einer der muskulo-skelettalen Parameter, insbesondere die Lage

und/oder die Orientierung eines Gelenkes variiert. Danach werden erneut die individuellen muskulo-skelettalen Belastungen unter Berücksichtigung des mindestens einen varierten muskulo-skelettalen Parameters automatisch bestimmt.

5 Darauf wird erneut eine rechnergestützte Bewertung für individuelle muskulo-skelettale Belastungen hinsichtlich des mindestens einen Zielkriteriums vorgenommen. Auf diese Weise kann ein Vergleich zwischen zwei möglichen Situationen bzw. Operationsplänen vorgenommen werden. Beispielsweise kann untersucht werden, wie sich eine unterschiedliche Lage eines Gelenkes im Hinblick auf das mindestens eine Zielkriterium, beispielsweise im Hinblick auf die dabei auftretenden Kontaktkräfte des Gelenkes, verhält. Eine genaue Operationsplanung wird hierdurch möglich. Der variierte Parameter kann in

10 einer Weiterentwicklung der Erfindung optimiert werden, indem die Variation des mindestens einen Parameters solange wiederholt wird, bis ein festgelegter Zielwert mindestens eines Zielkriteriums erreicht wird. Hierdurch wird iterativ eine Optimierung des Zielkriteriums und damit auch des Parametersatzes erreicht. Auf diese Weise kann beispielsweise die optimale Lage eines künstlichen Gelenkes ermittelt werden.

15

20

Die so ermittelten muskulo-skelettalen Parameter, beispielsweise die Lage eines Gelenkes werden vorteilhaft auf einem Ausgabegerät ausgegeben und/oder in einem Speichergerät gespeichert. Zusätzlich oder alternativ können die Ausgabedaten auch an ein Computer Assistiertes Chirurgiesystem und / oder ein chirurgisches Navigationssystem übermittelt werden,

25

30 so dass diese Daten auch intra-operativ zur Verfügung stehen können.

Die in diesem iterativen Verfahren gewonnenen und mit dem Zielwert korrespondierenden individuellen und variierten muskulo-skelettalen Parameter dienen mit Vorteil als Grundlage für die Planung eines operativen Eingriffs. Insbesondere dienen sie als Grundlage für die Wahl von Komponenten, beispielsweise unterschiedlichen Gelenktypen, bezüglich der Positionierung der Komponenten oder der Entscheidung über die Entfernung temporärer Implantate.

Um die Auswirkungen unterschiedlicher Implantate auf die muskulo-skelettale Belastung des Patienten ermitteln zu können, kann die Variation der individuellen muskulo-skelettalen Parameter unter Berücksichtigung der Daten von Implantaten, insbesondere deren Abmessungen und Bewegungsbe reichen, durchgeführt werden. So können beispielsweise unterschiedliche Implantate gegeneinander getestet werden und das für die jeweilige Patientenanatomie optimale Implantat unter Berücksichtigung der jeweiligen Zielkriterien gewählt werden.

Zur automatischen Bestimmung der individuellen muskulo-skelettalen Belastungen sind in Weiterbildungen des erfindungsgemäßen Verfahrens zwei unterschiedliche Verfahrenstypen vorgesehen:

Zum Einen werden die individuellen bzw. die variierten muskulo-skelettalen Parameter mit in einer Datenbank hinterlegten, muskulo-skelettalen Referenzparametern verglichen, wobei zu den muskulo-skelettalen Referenzparametern korrespondierende muskulo-skelettale Referenzbelastungen als die individuellen muskulo-skelettalen Belastungen bestimmt werden. Die muskulo-skelettalen Referenzparameter können in der Datenbank dabei als diskrete Werte vorliegen. Beim Vorliegen

diskreter Werte bietet es sich an, die Referenzparameter mit den individuellen muskulo-skelettalen Parametern mittels funktioneller Zusammenhänge, insbesondere mittels Interpolation zu vergleichen.

5

Zum Anderen werden die individuellen muskulo-skelettalen Belastungen in einer Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens aus dem ermittelten individuellen muskulo-skelettalen Parametern berechnet. Dabei liegt der Berechnung 10 vorteilhaft ein biomechanisches und/oder ein mathematisches Modell zugrunde. In einer Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens findet bereits eine Anpassung des jeweiligen verwendeten biomechanischen bzw. mathematischen Modells an die individuellen muskulo-skelettalen Parameter statt. Dazu 15 kann ein biomechanisches und/oder ein mathematisches Modell aufgrund der ermittelten individuellen muskulo-skelettalen Parameter aus mindestens einer Datenbank ausgewählt werden.

Es findet dann eine Optimierung und Anpassung des ausgewählten Modells an die ermittelten individuellen muskulo-skelettalen Parameter statt. Vorteilhaft findet daher eine Berechnung der individuellen muskulo-skelettalen Belastungen mit Hilfe eines muskulo-skelettalen Modells unter Berücksichtigung der individuellen Patientenanatomie bzw. unter 25 Berücksichtigung der individuellen anthropometrischen Daten des Patienten statt.

Zur Vereinfachung der rechnergestützten Bewertung der jeweiligen Verfahrensergebnisse werden diese individuellen muskulo-skelettalen Belastungen vorteilhaft visualisiert. Der jeweilige behandelnde Arzt bzw. Therapeut kann so anhand der Visualisierung schnell und einfach seinen Behandlungsplan überprüfen und abändern. Dabei werden vorteilhaft die indi-

viduellen muskulo-skelettalen Belastungen anhand eines anatomischen Modells graphisch und/oder numerisch dargestellt.

Durch die Bewertung der individuellen muskulo-skelettalen

5 Belastungen kann weiterhin ein Rehabilitationsprozess bewertet und/oder gesteuert werden, indem beispielsweise erkannt werden können. So kann z.B. über das Internet auf entsprechende Daten zugegriffen werden.

10 In einer vorteilhaften Weiterbildung des Verfahrens werden die individuellen muskulo-skelettalen Parameter des Patienten durch Messungen ermittelt. Zur Vereinfachung und Objektivierung des Verfahrens kann mindestens einer der individuellen muskulo-skelettalen Parameter automatisch gemessen 15 werden. Eine solche Messung kann insbesondere durch Bilderkennung, Computertomographie und/oder durch Bewegungssensoren stattfinden.

Ferner ist es vorteilhaft, wenn individuelle Bewegungsparameter, insbesondere Gangparameter ermittelt werden und diese zur automatischen Bestimmung individueller muskulo-skelettaler Belastungen verwendet werden. Zum Beispiel können individuelle Gangparameter durch Bildaufnahmen von Beinen in Bewegung gewonnen werden. Aus den Aufnahmen können 25 dann dreidimensionale Positionen der Körperteile bestimmt werden. Auch wird dabei die Bodenreaktionskraft gemessen, die vom Boden auf den Fuß wirkt. Dabei ist es besonders vorteilhaft, wenn die individuellen Gangparameter aus in einer Datenbank gespeicherten Personendaten ermittelt werden und / 30 oder für eine Person individuell erfasst werden.

Die Aufgabe wird auch durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 22 gelöst. Eine solche Vorrichtung kann

als software- und / oder hardwaregestützte Variante in einer Datenverarbeitungsanlage implementiert sein. Diese Datenverarbeitungsanlage weist dann eine Kopplung mit einer Datenbank auf, mit der muskulo-skelettale Belastungen und / oder individuelle Bewegungsparameter speicherbar sind.

Das Verfahren wird im Folgenden anhand der Zeichnungen der Figuren weiter erläutert. Es zeigen:

- 10 Fig. 1 eine schematische Darstellung des erfindungsgemäßen Verfahrens in einer ersten Ausführungsform;
- 15 Fig. 2 das Verfahren in einer zweiten, detaillierteren Ausführungsform;
- Fig. 3 Ausschnitt aus dem in Figur 2 gezeigten Verfahren bezüglich der Bestimmung individueller muskulo-skelettaler Belastungen aus einer Datenbank;
- 20 Fig. 4 detaillierter Ausschnitt aus dem Verfahren der Figur 2, wobei die Berechnung muskulo-skelettaler Belastungen gezeigt ist;
- 25 Fig. 5 weiter Ausschnitt aus dem Verfahren der Figur 2, der sich auf die Visualisierung bezieht; und
- Fig. 6 Darstellung einer möglichen Visualisierung muskulo-skelettaler Belastungen.
- 30 In Figur 1 ist schematisch des erfindungsgemäße Verfahren gezeigt. Im ersten Schritt werden die individuellen muskulo-skelettalen Parameter des jeweiligen Patienten ermittelt. Dazu zählen insbesondere anthropometrische Daten, wie bei-

spielsweise die Knochenabmessungen und deren Massen, die Schwerpunkte der Knochen und andere Trägheitsparameter, die Beckenabmessungen, die jeweiligen Ober- und Unterschenkel-längen oder die Fußlänge. Hierin können auch andere anthropometrische Daten eingehen, die im Zusammenhang mit der jeweiligen automatischen Bestimmung der individuellen muskulo-skelettalen Belastungen im Zusammenhang stehen.

Die Ermittlung der individuellen muskulo-skelettalen Parameter im Schritt 1 kann durch automatische Messungen, die beispielsweise aus der Computertomographie entnommen sind, durch Außenmessungen des Patienten, durch Bewegungsanalysen oder durch andere Messverfahren ermittelt werden. Zusätzlich oder alternativ können anthropometrischen Parameter automatisch von einem Navigationssystem übernommen werden.

Dabei können in Schritt 40 z.B. individuelle Bewegungsparameter in das Verfahren eingehen. Im Fall der unteren Extremitäten kann dazu eine Ganganalyse verwendet werden. Dabei werden z.B. mit einem optischen Messsystem die Bewegungen der einzelnen Beinsegmente bei bestimmten Aktivitäten (z.B. Laufen, Treppensteigen, Aufstehen von einem Stuhl, Kniebeugen etc.) erfasst. Damit die optische Erfassung durchführbar ist, werden auf einen Patienten reflektierende Marker angeordnet, die vom Messsystem erfassbar sind. Damit kann dann die räumliche und zeitliche Position der Körpersegmente (z.B. Becken, Oberschenkel, Knie, Unterschenkel, Fuß) ermittelt werden. In Verbindung mit mehreren Kameras kann aus den zweidimensionalen Bildern ein dreidimensionales Bewegungsbild der Körpersegmente gewonnen werden. Auch wird bei der Ganganalyse die Reaktionskraft des Bodens auf die Füße gemessen. Die Bewegungsparameter können dabei aus Datenbankwerten eines Patienten (z.B. Größe, Gewicht) berechnet wer-

den und / oder am Patienten direkt erhoben werden. Auch wenn im Folgenden auf Gangparameter abgehoben wird, so können grundsätzlich auch Bewegungsparameter anderer Körperteile verwendet werden.

5

Im Schritt 2 werden die individuellen muskulo-skelettalen Belastungen automatisch aus den ermittelten individuellen muskulo-skelettalen Parametern und ggf. aus den individuellen Bewegungsparametern bestimmt. Diese Bestimmung kann beispielweise durch Vergleich der ermittelten muskulo-skelettalen Parameter mit in einer Datenbank hinterlegten Referenzparametern, oder aber durch Berechnung der jeweiligen individuellen muskulo-skelettalen Belastungen erfolgen. Aus diese Verfahren wird bei der Beschreibung der folgenden Figuren weiter eingegangen werden.

Im Schritt 3 des in Figur 1 gezeigten Verfahrens werden nun die automatisch bestimmten, individuellen muskulo-skelettalen Belastungen bezüglich eines Zielkriteriums rechnergestützt bewertet. Als Zielkriterium können dabei beispielweise die Kontaktkräfte oder das Bewegungsausmaß eines Gelenkes oder die notwendigen Fragmentbewegungen einer Fraktur dienen. Auch eine Kombination mehrerer Zielkriterien kann hierbei betrachtet und bewertet werden.

25

In einer einfachen Ausführung des Verfahrens werden die Werte bzw. die individuellen Belastungen dann mit Schritt 6 ausgegeben bzw. dokumentiert.

30 Zur Optimierung eines Parametersatzes kann in einer Weiterbildung des Verfahrens weiterhin im Schritt 4 überprüft werden, ob das Zielkriterium einen vorher festgelegten Zielwert erreicht hat. Ist dies nicht der Fall, so wird im Schritt 5

mindestens einer der individuellen Parameter variiert. Die automatische Bestimmung der individuellen Belastungen im Schritt 2 und die Bewertung dieser individuellen Belastungen bezüglich eines Zielkriteriums im Schritt 3 schließt sich  
5 daran an. Ist der Zielwert im Schritt 4 immer noch nicht erreicht, so erfolgt eine neue Variation mindestens eines Parameters in Schritt 5. Ist der Zielwert hingegen erreicht, so erfolgt die Ausgabe bzw. Dokumentation im Schritt 6. Auch ist es möglich, dass die Datenausgabe automatisch an ein  
10 chirurgisches Navigationssystem erfolgt.

Durch dieses iterative Vorgehen kann ein Parametersatz bezüglich eines oder mehrerer Zielkriterien optimiert werden. Der bezüglich der individuellen muskulo-skelettalen Belastungen bzw. bezüglich des Zielkriteriums optimierte individuelle Parametersatz kann dann zur Planung beispielsweise  
15 eines operativen Eingriffs bzw. zur Planung therapeutischer Maßnahmen verwendet werden.

20 Die Variation des mindestens einen Parameters in Schritt 5 der Figur kann auch die Abmessungen bzw. andere Parameter von Implantaten berücksichtigen. So können durch die Variationen der Parameter in Schritt 5 unterschiedliche Implantate gegeneinander getestet werden.

25 Die gewonnenen und verarbeiteten Daten werden gespeichert und können für die Rehabilitation verwendet werden. Dabei kann z.B. der zuständige Arzt über das Internet auf die Daten zugreifen, um einen speziell angepassten Rehabilitationsplan, z.B. für die Krankengymnastik zu gestalten.  
30

In Figur 2 ist das erfundungsgemäße Verfahren in einer erweiterten Ausführungsform gezeigt. Zunächst werden im

Schritt 1 die individuellen muskulo-skelettalen Parameter des jeweiligen Patienten, beispielsweise durch automatische Messung, ermittelt. Die automatische Bestimmung der individuellen muskulo-skelettalen Belastungen aus den ermittelten 5 individuellen muskulo-skelettalen Parametern kann danach entweder im Schritt 20 über eine Datenbankabfrage oder aber im Schritt 21 über eine Berechnung des individuellen muskulo-skelettalen Belastung erfolgen. Dabei gehen auch die individuellen Gangparameter ein (Schritt 40).

10

Aus dem Schritt 20 bzw. dem Schritt 21 ergibt sich dann im Schritt 22 die individuelle muskulo-skelettale Belastung des jeweiligen Patienten. Die individuelle muskulo-skelettale Belastung wird nun für die Visualisierung im Schritt 30 aufbereitet. Wie dies im einzelnen vor sich geht wird bei der 15 Beschreibung der weiteren Figuren thematisiert.

Im Schritt 31 werden die jeweiligen individuellen muskulo-skelettalen Belastungen visualisiert. Aus der Visualisierung 20 heraus werden die muskulo-skelettalen Belastungen nun dahingehend rechnergestützt bewertet, ob mindestens ein Zielkriterium einen vorgegebenen Zielwert erreicht hat. Ist dies im Schritt 4 der Fall, so werden die entsprechenden Parameter 25 sowie die muskulo-skelettalen Belastungen im Schritt 6 ausgegeben bzw. dokumentiert. Ist der Zielwert im Schritt 4 nicht erreicht, so wird mindestens ein Parameter an Hand der Visualisierung im Schritt 50 verändert bzw. variiert.

Mit dem in Schritt 50 erzeugten, neuen Parametersatz wird 30 dann wiederum eine automatische Bestimmung der individuellen muskulo-skelettalen Belastungen im Schritt 20 bzw. im Schritt 21 durchgeführt. Dieser iterative Prozess wird so-

lange vorgeführt, bis in Schritt 4 der Zielwert mindestens eines Zielkriteriums erreicht ist.

In den Figuren 3 und 4 wird nun die automatische Bestimmung 5 der individuellen muskulo-skelettalen Belastungen in den beiden genannten Varianten dargestellt.

In Figur 3 werden die im Schritt 2 ermittelten individuellen muskulo-skelettalen Parameter mit in einer Belastungsdatenbank 10 200 hinterlegten Referenzparametern verglichen. Die Referenzparameter der Belastungsdatenbank 200 können dabei entweder als diskrete Werte, oder als kontinuierliche Werte vorliegen.

15 Beim Vorliegen diskreter Werte wird der Vergleich zwischen den ermittelten individuellen muskulo-skelettalen Parametern und den Referenzparametern der Belastungsdatenbank über funktionelle Zusammenhänge, insbesondere über eine Interpolation durchgeführt. Die den den ermittelten Parametern 20 nächstliegenden Referenzparameter entsprechenden Referenzbelastungen werden dann als die individuelle muskulo-skelettale Belastung im Schritt 22 ausgegeben.

25 In diese Variante ist vor der Durchführung des erfindungsge- mäßen Verfahrens eine größere Menge empirischer Daten zu erheben, an Hand derer die Belastungsdatenbank 200 aufgebaut werden kann.

30 In Figur 4 ist die zweite Variante der automatischen Bestimmung der muskulo-skelettalen Belastungen gezeigt. Aus den ermittelten individuellen muskulo-skelettalen Parametern in Schritt 1 wird aus einer Datenbank 210 ein passendes anato-

mischiges mechanisches und/oder biomechanisches Modell bzw. ein passendes Bewegungsmodell auszuwählen.

Das ausgewählte Modell wird im Schritt 211 an die ermittelten individuellen muskulo-skelettalen Parameter 1 angepasst. Im Schritt 212 erhält man daraus ein individuelle biomechanischen Modell, das an den jeweiligen Patienten individuelle angepasst ist. Dabei gehen auch individuelle Gangparameter 40 ein.

10

Mit dem individuellen biomechanischen Modell werden nun im Schritt 213 die individuellen muskulo-skelettalen Belastungen berechnet. Diese individuellen muskulo-skelettalen Belastungen werden dann der individuellen muskulo-skelettalen Belastung in Schritt 22 zugeordnet.

Figur 5 zeigt die einzelnen Verfahrensschritte zur Visualisierung der individuellen muskulo-skelettalen Belastungen. Die individuellen muskulo-skelettalen Belastungen des Schrittes 22 werden zusammen mit den Daten einer Datenbank 310 eines anatomischen Modells im Schritt 311 aufbereitet. Dabei können beispielsweise die individuellen muskulo-skelettalen Belastungen einzelnen anatomischen Partien zugeordnet werden. Dabei können auch Daten in einem chirurgischen Navigationssystem verarbeitet werden. Die so verknüpften und aufbereiteten Daten werden im Schritt 312 visualisiert.

Eine solche Visualisierung ist beispielsweise in Figur 6 gezeigt. Einzelne Parameter 1 bis m können an Hand der Visualisierung, beispielsweise an Hand einer grafischen Darstellung, auf einem Computerschirm mit Hilfe eines Schiebers 500 variiert werden. Der Wert des jeweiligen Parameters wird in

einer separaten Anzeige 501 angezeigt. Hier kann es sich beispielsweise um einen Winkel oder einen Abstand handeln. Die muskulo-skelettale Belastung wird an Hand einer Kurve 502, die die Belastungen beispielsweise während eines Gehzyklus bzw. während des Treppensteigens zeigt, visualisiert.

Der behandelnde Arzt oder der Therapeut kann nun durch verschieben des Schiebers 500 unterschiedliche Werte des jeweiligen Parameters einstellen und dabei betrachten, wie 10 sich die Belastungsdaten verändern.

Über diese Visualisierung und die gleichzeitige Veränderung der Parameter ist ein Ausfinden einer optimalen Lösungen bzw. das Planen eines Eingriffes schnell und effizient möglich. Der jeweilige behandelnde Arzt bzw. Therapeut kann so 15 auf einen Blick überschauen, welche Konsequenzen eine Veränderung eines Parameters hinsichtlich eines Zielkriteriums bewirkt.

20 Die Figurenbeschreibung bezieht sich auf ein spezielle Gelenk, nämlich ein Hüftgelenk. Die erfindungsgemäße Lehre ist aber grundsätzlich für alle Gelenke, insbesondere auch Kniegelenke, Schultergelenke, Sprunggelenke, Kiefergelenke, El- lenbogengelenke und / oder Wirbelsäulengelenke anwendbar.

**Ansprüche**

1. Verfahren zur Simulation muskulo-skelettaler Belastungen eines Patienten, insbesondere zur Vorbereitung bzw.

5 Überwachung operativer Eingriffe und/oder zur Planung bzw. Überwachung der Rehabilitation, mit den Schritten:

a. Ermitteln individueller muskulo-skelettaler Parameter des Patienten, insbesondere durch automatische Messung anthropometrischer Parameter, automatische Ableitung anthropometrischer Parameter aus einem System für die Computer Assistierte Chirurgie, insbesondere einem chirurgischen Navigationssystem, und/oder der Lage und/oder Orientierung von Gelenken;

15

b. Automatische Bestimmung der individuellen muskulo-skelettalen Belastungen aus den ermittelten muskulo-skelettalen Parametern des Patienten;

20

c. Rechnergestützte Bewertung der individuellen muskulo-skelettalen Belastungen hinsichtlich mindestens eines Zielkriteriums, insbesondere hinsichtlich der Kontaktkräfte oder des Bewegungsausmaßes eines Gelenkes oder hinsichtlich der Fragmentbewegungen einer Fraktur.

25

2. Verfahren nach Anspruch 1 mit den zusätzlichen Schritten:

30

d. Variation mindestens eines muskulo-skelettalen Parameters, insbesondere der Lage und/oder der Orientierung eines Gelenks;

35

e. Erneute automatische Bestimmung der individuellen muskulo-skelettalen Belastungen unter Berücksichti-

gung des mindestens einen variierten muskulo-skelettalen Parameters;

5 f. Erneute rechnergestützte Bewertung der individuellen muskulo-skelettalen Belastungen hinsichtlich des mindestens einen Zielkriteriums.

10 3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Schritte d. bis f. wiederholt werden, bis ein festgelegter Zielwert ..mindestens eines Zielkriteriums erreicht wird.

15 4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die mit dem Zielwert korrespondierenden muskulo-skelettalen Parameter auf einem Ausgabegerät ausgegeben werden, in einem Speichergerät gespeichert und / oder an ein Computer Assistiertes Chirurgiesystem und / oder an ein chirurgisches Navigationssystem übertragen werden.

20 5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass die mit dem Zielwert korrespondierenden individuellen und variierten muskulo-skelettalen Parameter als Grundlage für die Planung eines operativen Eingriffs, insbesondere als Grundlage für die Wahl von Komponenten, der Positionierung von Komponenten oder der Entscheidung über die Entfernung temporärer Implantate, dienen.

25 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Variation der individuellen muskulo-skelettalen Parameter in Schritt d. unter Berücksichtigung vorgebarbarer Daten von Implantaten, insbesondere deren Abmessungen und Bewegungsbereiche, durchgeführt wird.

7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur automatischen Bestimmung der individuellen muskulo-skelettalen Belastungen die individuellen bzw. die variierten muskulo-skelettalen Parameter mit in einer Datenbank hinterlegten muskulo-skelettalen Referenzparametern verglichen werden, wobei zu den muskulo-skelettalen Referenzparametern korrespondierende muskulo-skelettale Referenzbelastungen als die individuellen muskulo-skelettalen Belastungen bestimmt werden.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die muskulo-skelettalen Referenzparameter als diskrete Werte in der Datenbank vorliegen.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die muskulo-skelettalen Referenzparameter mit den individuellen muskulo-skelettalen Parametern mittels funktioneller Zusammenhänge, insbesondere mittels Interpolation, verglichen werden.
10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die individuellen muskulo-skelettalen Belastungen aus den ermittelten individuellen muskulo-skelettalen Parametern berechnet werden.
11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Berechnung der individuellen muskulo-skelettalen Belastungen ein biomechanisches und/oder ein mathematisches Modell zugrunde gelegt wird.
12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass das biomechanische und/oder mathematische Modell an die individuellen muskulo-skelettalen Parameter angepasst wird.

13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass das biomechanische und/oder mathematische Modell aufgrund der ermittelten individuellen muskulo-skelettalen Parameter aus mindestens einer Datenbank ausgewählt wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die individuellen muskulo-skelettalen Belastungen mit Hilfe eines muskulo-skelettalen Modells unter Berücksichtigung der individuellen Patientenanatomie berechnet wird.

15. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die individuellen muskulo-skelettalen Belastungen zur Bewertung visualisiert werden.

16. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die individuellen muskulo-skelettalen Belastungen anhand eines anatomischen Modells; insbesondere graphisch und/oder numerisch dargestellt werden.

17. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass durch die Bewertung der individuellen muskulo-skelettalen Belastungen ein Rehabilitationsprozess bewertet und/oder gesteuert wird, insbesondere mittels eines Zugriffs über das Internet.

30

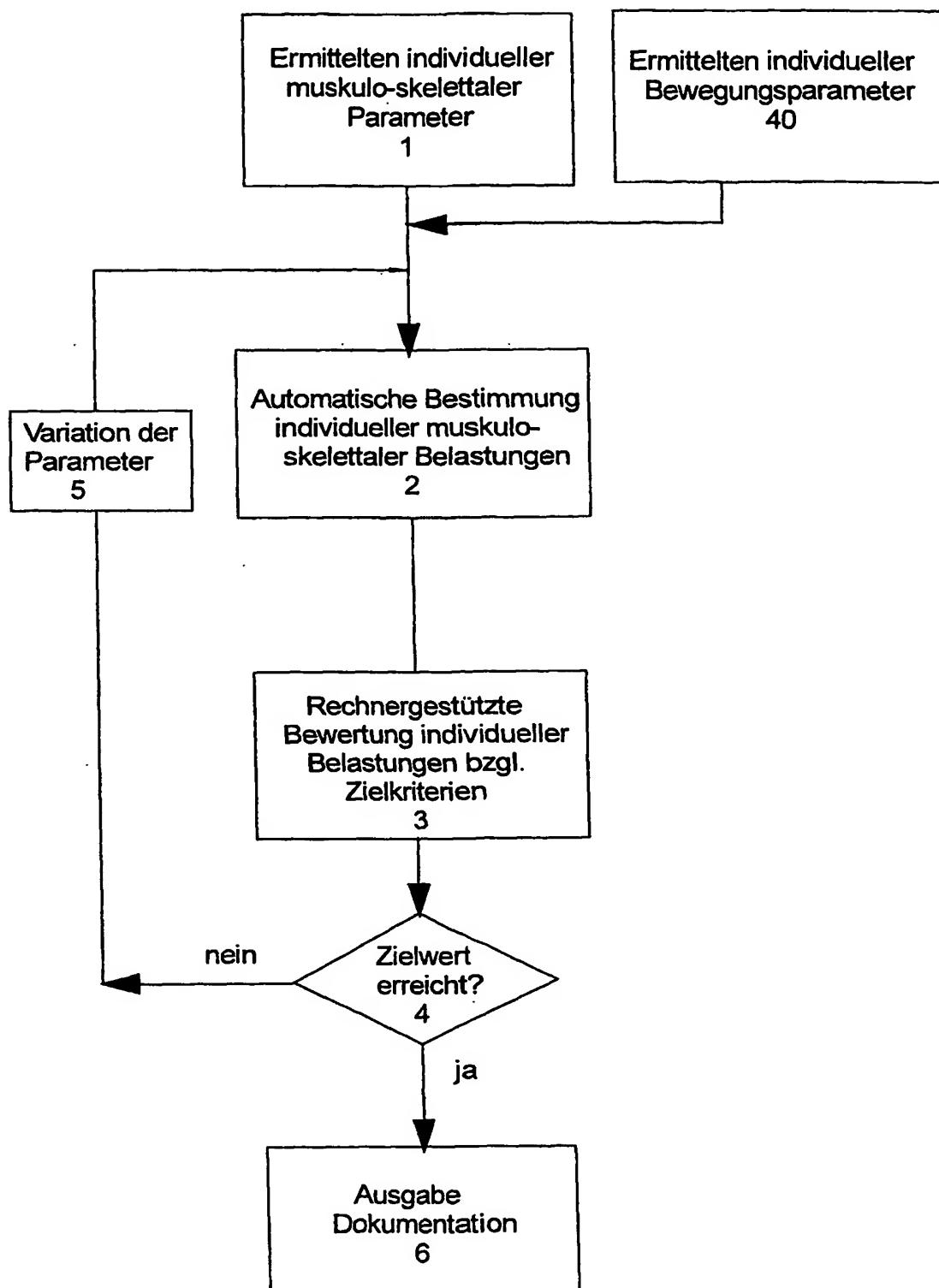
18. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die individuellen muskulo-skelettalen Parameter des Patienten durch Messungen ermittelt werden.

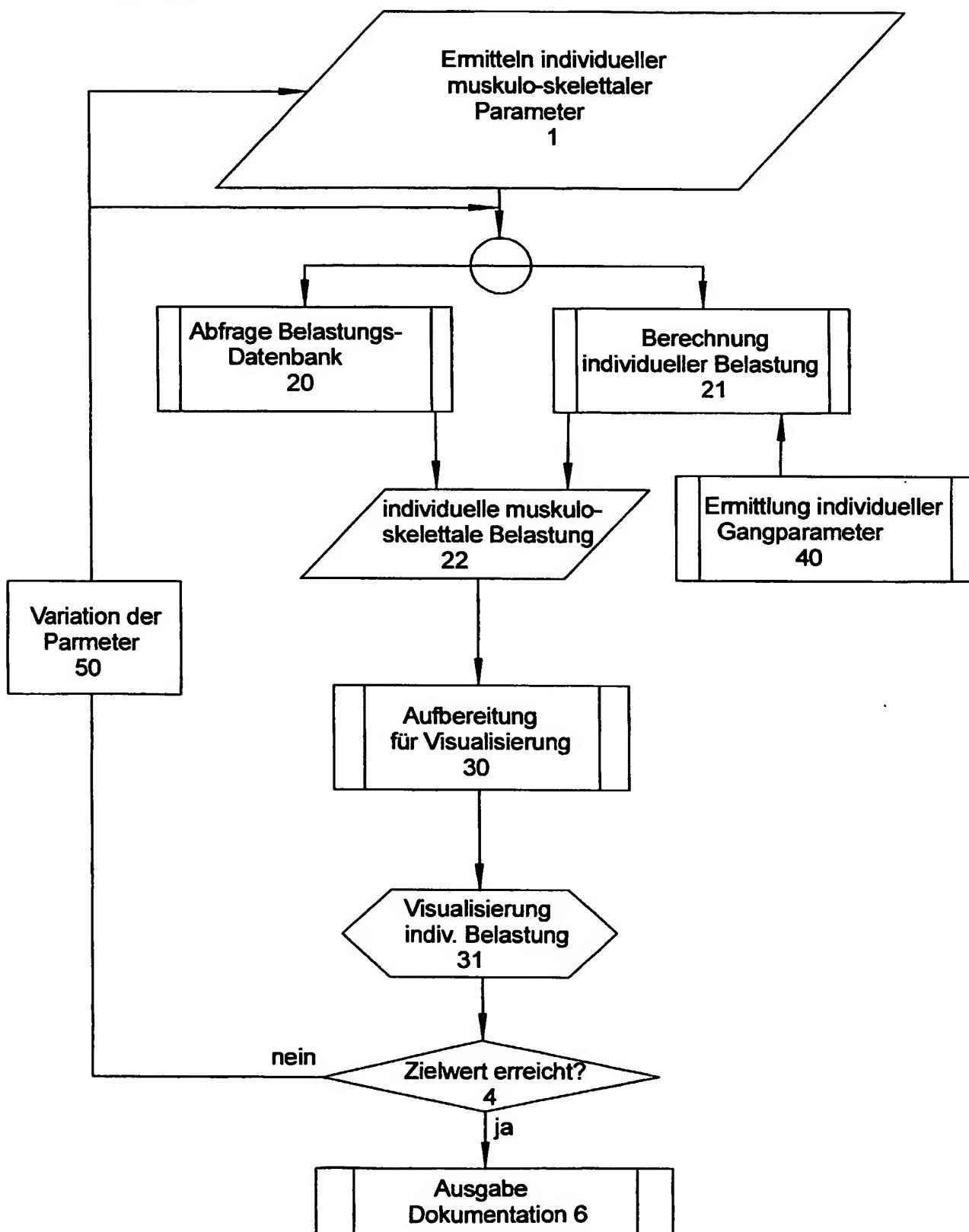
35

19. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens einer der individuellen muskulo-skelettalen Parameter automatisch gemessen wird, insbesondere durch Bilderkennung, Computertomographie und/oder Bewegungs-
- 5 sensoren.
20. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass individuelle Bewegungsparameter, insbesondere Gangparameter ermittelt werden und diese
- 10 - zur automatischen Bestimmung individueller muskulo-skelettaler Belastungen verwendet werden.
21. Verfahren nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass die individuellen Gangparameter aus in einer Datenbank
- 15 gespeicherten Personendaten ermittelt werden und / oder für eine Person individuell erfasst werden.
22. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Lage und/oder Orientierung von
- 20 Gelenken für ein Navigationssystem für die computerunterstützte Chirurgie verwendet werden und / oder die Daten von einem Navigationssystem für die computerunterstützte Chirurgie verwendet werden.
- 25 23. Vorrichtung zur Bewertung muskulo-skelettaler Belastungen eines Patienten mit Mitteln zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorstehenden Ansprüche.
24. Bewegungsanalysesystem, insbesondere Ganganalysesystem,
- 30 dadurch gekennzeichnet, dass es mit einer Vorrichtung nach Anspruch 23 gekoppelt ist.

25. Navigationssystem für die computerunterstützte Chirurgie  
zur Durchführung eines Verfahrens gemäß der Ansprüche 1  
bis 22

\* \* \* \* \*

**FIG 1**

**FIG 2**

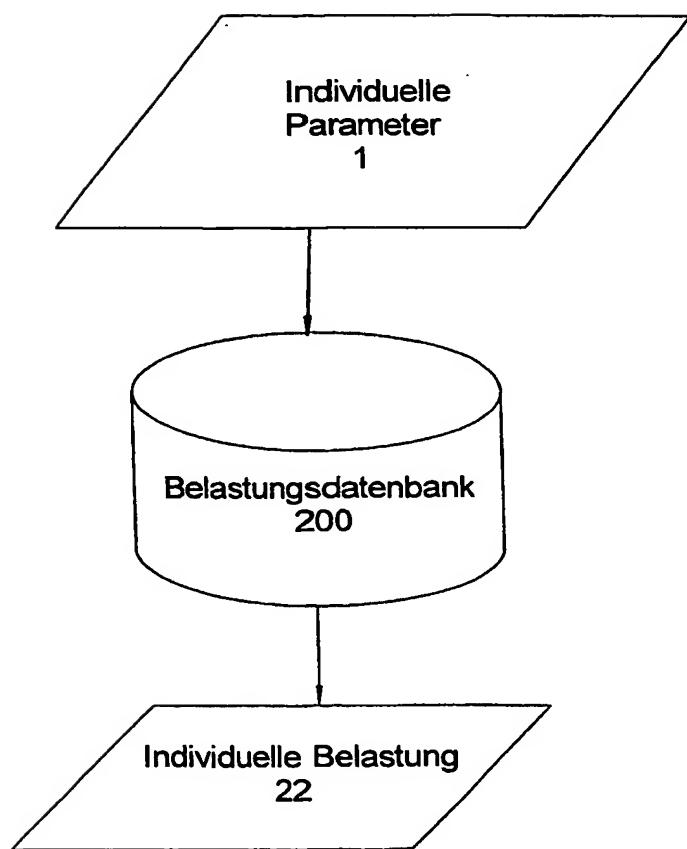
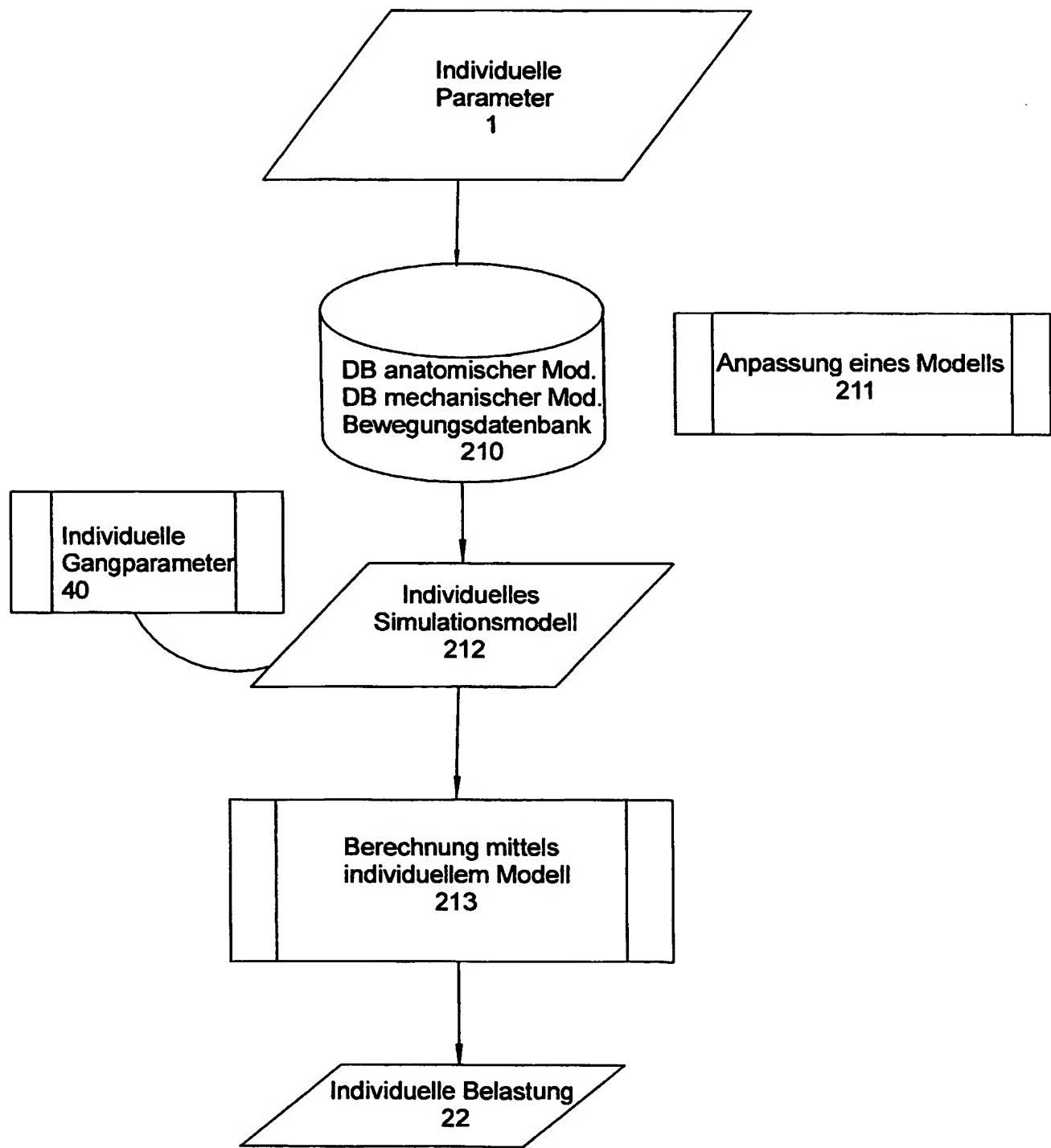
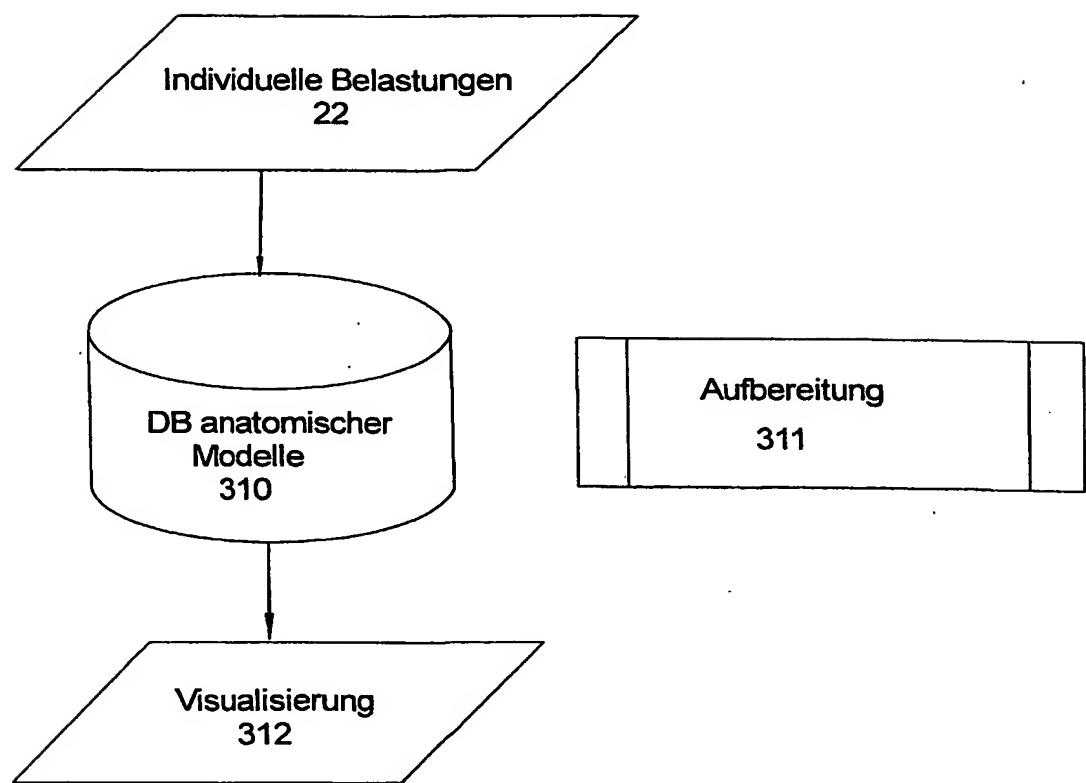
**FIG 3**

FIG 4



**FIG 5**

**FIG 6**